

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-340551

(43) 公開日 平成11年(1999)12月10日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/094  
3/042H 0 1 S 3/094  
3/04S  
L

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願平10-143799

(22) 出願日 平成10年(1998)5月26日

(71) 出願人 000006208

三菱重工株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 野田 修

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工株式会社高砂研究所内

(72) 発明者 入谷 陽一郎

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工株式会社高砂研究所内

(72) 発明者 松井 一浩

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工株式会社高砂研究所内

(74) 代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)

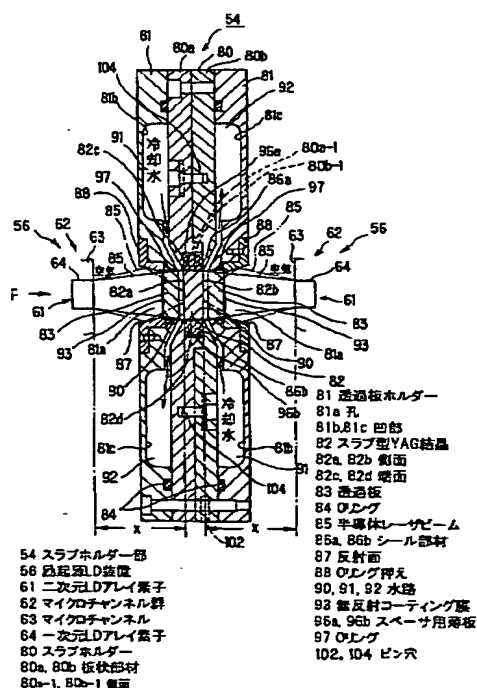
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置

(57) 【要約】

【課題】 スラブ型結晶内の温度分布をジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償が有効に行われる状態に維持し、冷媒を確実にシールし、また、シール部材の着脱が容易であり、前記結晶から冷媒への熱伝達率が高く、或いは、前記結晶の側面を均一に冷却可能な前記結晶の冷却構造を有するLD励起スラブ固体レーザ装置を提供する。

【解決手段】 スラブ型YAG結晶の両端面には冷却水をシールし、両端面を断熱し、半導体レーザビームを吸収して発熱することのないシール部材を設ける。シール部材とスラブホルダーの隙間にスペーサ用薄板を挿入する。或いはスラブホルダーの両板状部材の前記結晶挿入部の側面を傾斜構造としてシール部材を締め付ける。前記結晶の側面の水路の流路断面積を水路系で最小にする。前記水路の幅を調節して冷却水の流れを乱流とする。透過板の前記結晶側の面を透過板ホルダーに面接触とする。透過板の全周にリングを装着し、透過板ホルダーのリングとの接触面を斜面構造としてリングをリング押えで潰すようにする。



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-340551

(43)Date of publication of application : 10.12.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/094

H01S 3/042

(21)Application number : 10-143799

(71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD

(22)Date of filing : 26.05.1998

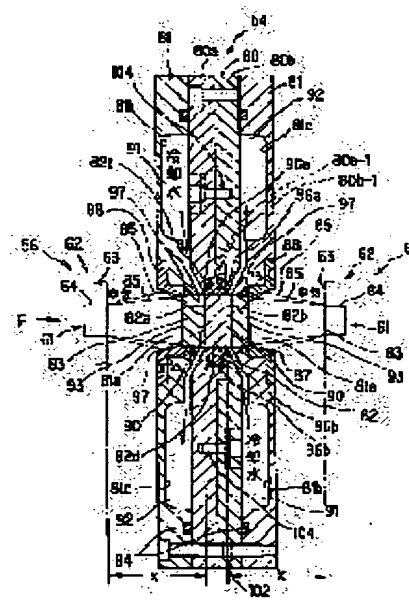
(72)Inventor : NODA OSAMU  
IRITANI YOICHIRO  
MATSUI KAZUHIRO  
WATANABE MASANARI  
AKAHA TAKASHI  
OKANO MASAHIRO

## (54) SLAB SOLID-STATE LASER DEVICE PUMPED BY SEMICONDUCTOR LASER

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To keep the temperature distribution in a slab-type YAG crystal 82 in an effective state with a thermal lens optical compensation by providing a slab-type crystal on both ends in the widthwise direction of the side thereof with a sealing member which seals coolant, thermally insulates both the ends, and does not absorb a semiconductor laser beam 85 nor generates heat.

**SOLUTION:** Sealing members 86a, 86b are provided on both ends 82c, 82d in the widthwise direction of the side of a slab-type YAG crystal 82, seal cooling water flowing in a water passage 90, and thermally insulate both ends 82c, 82d of the slab-type YAG crystal 82. The sealing members 86a, 86b used are made of transparent silicon, which will not absorb a semiconductor laser beam 85 nor generates heat. The sealing members 86a, 86b can be put into close contact with the slab-type YAG crystal 82 and a slab holder 80 for improving sealing performance, whereby the temperature distribution in the slab-type YAG crystal 82 can be kept in a state in which a thermal lens optical compensation is effectively performed.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.05.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 21.03.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]	3154689
[Date of registration]	02.02.2001
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	2000-05649
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	20.04.2000
[Date of extinction of right]	

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、

前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するよう構成すると共に、

前記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザビームを吸収して発熱することのないシール部材を設けたことを特徴とする半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置。

【請求項2】 請求項1に記載する半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、

前記シール部材と前記スラブ型結晶を保持するスラブホルダーとの隙間にスペーサ用薄板を挿入して、前記シール部材を前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置。

【請求項3】 請求項1に記載する半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、

スラブホルダーを構成する一方の部材のスラブ型結晶挿入部の側面を斜面構造とし、且つ、前記スラブホルダーを構成する他方の蓋としての部材のスラブ型結晶挿入部の側面も斜面構造として、前記両部材を合体させたときに前記シール部材を前記両側面で締め付けて前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置。

【請求項4】 半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、

前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、

前記冷媒流路の流路断面積が冷媒流路系で最も小さくなるように構成したことを特徴とする半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置。

【請求項5】 半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、

前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、

前記冷媒流路の流路幅を調節して冷媒の流速を調節することにより、前記冷媒流路における冷媒の流れが乱流となるように構成したことを特徴とする半導体レーザ励起

スラブ固体レーザ装置。

【請求項6】 半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、

前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、

前記透過板の前記スラブ型結晶側の面を透過板ホルダーに面接触として、前記冷媒流路の幅を一定に保持するよう構成したことを特徴とする半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置。

【請求項7】 半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、

前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、

前記透過板の角にはOリングを装着可能な曲率を施して前記透過板の全周にOリングを装着し、且つ、透過板ホルダーの前記Oリングとの接触面を斜面構造として、前記透過板の全周と前記透過板ホルダーとの間の前記OリングをOリング押えで押さえて潰すことにより、前記冷媒流路を流れる冷媒をシールする構成としたことを特徴とする半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置に関し、特に、100W級の半導体レーザ励起固体レーザ装置を実現する場合に適用して有用なものである。

## 【0002】

【従来の技術】 加工用の赤外域固体レーザ装置としては、従来、ランプ励起固体レーザ装置が開発され商品化されている。

【0003】 1 $\mu$ m帯を有する波長は石英ファイバ（光ファイバ）の透過特性の最低損失域に存在するため、波長が1 $\mu$ m近傍の高出力固体レーザビームの光ファイバ伝送が可能となり、狭径部の加工、3次元加工、遠距離での加工、放射線環境下での加工が可能である。例えば、固体レーザ装置であるNd:YAGレーザ装置の発振波長は1.064 $\mu$ mであるため、このYAGレーザ装置のレーザビームを光ファイバで伝送して、上記のような各種の加工を行うことができる。

【0004】 また、ガスレーザ加工で用いられる門型の加工機のみならず、光ファイバの先端をロボットアームに接続することにより、固体レーザ装置によるレーザ加工のフレキシビリティは拡大する。更には、レーザ加工

のみならず、その他の工業分野や、医療、計測分野での固体レーザ装置の利用が期待されている。

【0005】ところで、ランプ励起固体レーザ装置は励起ランプの全周から放射される光を反射円筒鏡で固体結晶へ集光することにより、この光が固体結晶中にドーパされたレーザ媒質に吸収されてレーザ媒質が光励起するものであり、前記励起ランプと固体結晶とで構成されるレーザヘッドと、このレーザヘッドを挟んで対向するように配置された一対の反射ミラー（部分透過の出力ミラーと全反射ミラー）で構成される共振器とを組み合わせることによって、光励起されたレーザ媒質からのレーザ発振を可能としたものである。

【0006】しかし、このような従来のランプ励起固体レーザ装置では、励起ランプの放射光は幅の広い波長分布を有しておりレーザ発振（固体レーザ媒質の励起）に必要な波長成分は極わずかであるため、発振効率が悪いということが問題点の一つであった。また、励起ランプの寿命が短いために、励起ランプの交換等のメンテナンスを頻繁に行う必要があることも問題点であった。

【0007】そこで、近年、半導体レーザ（Laser Diode；以下LDとも称する）装置の開発の進展と共にLD装置を励起源とした固体レーザ装置の開発が進み、このLD励起固体レーザ装置が上記従来のランプ励起固体レーザ装置の問題点を解決することができる固体レーザ装置として注目されている。即ち、励起源をランプに代えてLD装置とすることにより、この励起源LD装置の発振波長を固体レーザ媒質の吸収波長に同調させることが可能であるため、励起源LD装置からの励起光エネルギーが固体レーザ媒質の励起に100%程度寄与して、固体レーザ媒質の励起効率が增加する。

【0008】このため、LD励起固体レーザ装置は従来のランプ励起固体レーザ装置に比べて高効率発振が可能となり、また、励起源が固体素子化できるため長寿命化も可能となる。従って、LD励起固体レーザ装置は次世代レーザとしての期待が大きい。しかし、現在、実用化に至っているのはレーザ出力が数W～数10Wのものであるため、更に高出力なLD励起固体レーザ装置の実用化が望まれている。

【0009】そこで、更に高出力なLD励起固体レーザ装置を開発するには、大きな2つの課題がある。第1の課題は励起源LD装置の高出力化であり、第2の課題は固体レーザビームの高品質化である。具体的には次の通りである。

【0010】① 第1課題（励起源LD装置の高出力化）について

一つのLD素子から取り出せるレーザ出力には限界があり、LD発光端面の光損傷以上にはレーザ出力を取り出せない。例えば100Wの固体レーザビームを発振させるには、光-光変換効率を20%とすると500Wのレーザ出力を取り出せる励起源LD装置が必要になるが、

現状、一つのLD素子ではこのようなレーザ出力を得ることはできず、一つのLD素子で得られるのは数Wである。そこで、何らかの方法によって励起源LD装置の高出力化を図る必要があるが、現在主流となっているのは、一次元LDアレイ素子を二次元アレイ状に集積し（二次元LDアレイ素子）、この集積したLD素子数分のレーザ出力を合計して高出力化を図るという方法である。

【0011】しかし、この方法で問題となるのは、二次元LDアレイ素子を構成する各一次元LDアレイ素子の冷却方法である。つまり、LD素子の電気-光変換効率は100%ではなく略50%であり、LD素子に供給された電力の略50%は熱となる。そして、LD素子の発振波長には温度依存性があり、例えばAlGaAs一次元LDアレイ素子では発振波長が1℃当たり0.3nm変化する。

【0012】二次元LDアレイ素子を構成する各一次元LDアレイ素子の冷却が均一で温度上昇が均一であれば、後述する特開平9-181376号公報に開示されているように、この温度上昇に応じた発振スペクトルの波長シフト量を考慮して一次元LDアレイ素子を選択することによって固体レーザ媒質の吸収波長（YAGレーザ媒質では808～809nm）に同調させることができる。しかし、各一次元LDアレイ素子の冷却が均一でなく、LD素子温度に例えば10℃のばらつきが存在すると、上記の温度依存性から、発振波長として3nmのばらつきが存在することになるため、一部の一次元LDアレイ素子の発振波長が固体レーザ媒質の吸収波長から逸脱することになり、LD励起固体レーザ装置の発振効率の低下につながる。従って、二次元LDアレイ素子を構成する各一次元LDアレイ素子を均一に冷却することが必要になる。

【0013】そこで、かかる課題の解決を目的とした固体レーザ励起用LD装置が、特開平9-181376号公報に開示されている。この励起源LD装置について、図面に基づき以下に説明する。図22は従来の励起源LD装置の斜視図、図23及び図24は前記励起源LD装置の製造プロセスを示す工程図である。

【0014】図22に示すように、水路16aを有するマイクロチャンネル16が多数積み上げられると共に、これらのマイクロチャンネル16の間に、絶縁体17と一次元LDアレイ素子1とが重なり合わないよう平面的に並べて介装され、また、マイクロチャンネル16と一次元LDアレイ素子1とが電氣的及び物理的に接着されており、このことによって、多数の一次元LDアレイ素子1からなる二次元LDアレイ素子が構成され、且つ、多数のマイクロチャンネル16からなるパラレルの直接冷却構造が構成されている。

【0015】更に、積層されたマイクロチャンネル16の両側面（水路16aの入口側及び出口側）には、絶縁

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

材からなるマニホール18, 19が一直に取り付けられている。また、一次元LDアレイ素子1の上下面には図示しない電極(陽極、陰極)がそれぞれ配置されている。なお、一次元LDアレイ素子1は例えば数 $\mu\text{m}$ ×数 $100\mu\text{m}$ の断面積を持った数10個の活性媒質を一次元に配列したものである。

【0016】また、マイクロチャンネル16と一次元LDアレイ素子1とを接着する接着剤としては導電性の高い材料が用いられる。マイクロチャンネル16は導電性の材料で一体物として成形されて接合部はなく、その水路16aは冷却水を一方方向にのみ通過させる単一流路である。なお、図22中の7, 8は駆動電流の流入方向と流出方向、9, 10は冷却水の注入方向と注出方向である。

【0017】ここで、励起源LD装置2の製造プロセスを図23及び図24に基づいて説明する。

【0018】まず、図23(a)に示すように、マイクロチャンネル16を水平に置き、更に、図23(b)に示すように、マイクロチャンネル16上の一次元LDアレイ素子1が設置されるスペース以外の面には絶縁シート(商品名:カプトン、厚さ0.3 mm)17を貼付し、一次元LDアレイ素子1が設置されるスペースにはインジウムシート(11 mm×6 mm×0.01 mm)21を配置する。

【0019】次に、図23(c)に示すように、インジウムシート21の上に一次元LDアレイ素子1を積層し、更に、図23(d)に示すように、一次元LDアレイ素子1の上にインジウムシート21を積層する。続いて、図23(e)に示すように、一次元LDアレイ素子1及びインジウムシート21を間に挟んでマイクロチャンネル16を積層する。同様のプロセスを繰り返すことにより、固体レーザー媒質を励起するのに必要な分だけの一次元LDアレイ素子1等を積層して、二次元LDアレイ素子を構成すると共にマイクロチャンネル群からなる平行の直接冷却構造を構成する。

【0020】その後、図24(a)に示すように、この積層したもの(例えば42スタック、180 mmのもの)を、水路方向と垂直な面の合せを行った後、二つの支持ブロック23で挟み、この支持ブロック23の両端にボルト25を貫通し、このボルト25にナット24を螺合して締め付ける。この締め付けトルクはLD素子内の多層膜等を圧力により損傷させないように管理される。

【0021】更に、図24(b)に示すように、これらをホットプレート等の加熱板26に載せて、 $\text{N}_2 + \text{H}_2$ 雰囲気中で200℃まで加熱し、融点156℃のインジウムシート21を溶融させ、その後、加熱を停止して冷却することにより、インジウムシート21を再び固化して導電性接着剤として機能させる。かくして励起源LD装置2の本体部が製造される。同様にして、この励起源

LD装置本体部を2セット分を作成する。最後に、図24(c)に示すように、アクリル又はテフロンよりなるマニホール18, 19を、マイクロチャンネル群の入口側の面と出口側の面とにそれぞれ接着する。

【0022】従って、上記構成の励起源LD装置2では、図22に示すように、矢印9方向よりマニホール18内に冷却水が供給されると、この冷却水はマニホール18から各マイクロチャンネル16の水路16aに分流して並列的に流れた後、マニホール19内で集合して矢印10方向に排出される。即ち、各マイクロチャンネル16に対して冷却水がほぼ同一距離を同一時間で同一方向に流れるため、この均一な冷却水によって、各マイクロチャンネル16の間に介装された各一次元LDアレイ素子1を均一に冷却することができる。このため、励起源LD装置2の発振特性がそろい、LD励起固体レーザー装置の発振効率が向上して高出力化が図れる。

【0023】② 第2課題(固体レーザービームの高品質化)について

固体レーザービームの高品質化では、従来、固体結晶としてロッド型結晶が用いられてきた。例えば、YAGレーザー装置では図25に示すようなロッド型YAG結晶31が用いられてきた。この場合、図25(a)に示すように、ロッド型YAG結晶31の全周に励起光34を照射して、ロッド型YAG結晶31の長手方向に固体レーザービーム33を発振するようにする。また、ロッド型YAG結晶31の全周を冷却水によって冷却する。

【0024】しかし、ロッド型YAG結晶31を用いて高出力発振を行うと、図25(b)に示すように、ロッド型YAG結晶31内に径方向の温度分布を生じ、このことによって図25(c)に示すように、ロッド型YAG結晶31内の熱レンズ効果により、共振器32(部分透過の反射ミラー33aと全反射ミラー32b)から取り出したYAGレーザービーム33の発散角 $\theta$ が増大する。その結果、レーザービームの特徴の一つである指向性が劣化し、レーザービームの輝度(ビーム径×ビーム拡がりの立体角)が低下する。このため、レーザービームの各種応用に際しても、空間の長距離伝搬性や高エネルギー密度化といったレーザービームの特徴を最大限に生かすことができなくなる。

【0025】従って、高出力の固体レーザービームが発振可能であって、しかも、固体レーザービームの高品質化が可能となるような対策が必要である。そこで、この対策としてスラブ型結晶が用いられる。即ち、LD励起に限らずランプ励起でも開発されているスラブ型結晶を用い、このスラブ型結晶においてジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償を行うことにより、発散角の拡がりを抑えた高品質の固体レーザービームを取り出すことが可能となる。

【0026】つまり、図26に示すように、YAGレーザー装置では横断面が矩形状のスラブ型YAG結晶41を

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

用いる。図26(a)に示すように、スラブ型YAG結晶41の両側面41a, 41bに半導体レーザービーム等の励起光34を照射して、スラブ型YAG結晶41の長手方向にYAGレーザービーム42を発振するようにする。また、スラブ型YAG結晶41の両側面41a, 41bを冷却水によって冷却する。

【0027】この場合、図26(b)に示すように板厚t方向に温度分布を生じるが、図26(c)に示すようにスラブ型YAG結晶41内では、光が板厚t方向に反射して往復するジグザグ光路となるため、スラブ型YAG結晶41内の熱レンズ効果による影響が平均化されて、共振器43(部分透過の反射ミラー43aと全反射ミラー43b)から取り出したYAGレーザービーム42の発散角θは小さくなる。

【0028】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術では、LD励起スラブ固体レーザー装置の高出力化を図るには、励起源LD装置の冷却や、固体レーザー装置の励起(半導体レーザービームの照射)や、スラブ型結晶の冷却に関して、まだ、次のようないくつかの課題がある。

【0029】① 励起源LD装置の冷却に関する課題  
図22に示す従来の励起源LD装置2では、冷却水が各マイクロチャンネル16の水路16a内に流入したとき、冷却水の流れに乱れを生じ、また、その乱れ具合も各水路16aごとに異なる。更には、入口側のマニホールド18内における冷却水の速度分布が均一ではない。即ち、中央部の主流と両側の流れとの速度差が比較的大きい(主流の流速>両側の流速)。しかも、マニホールド18の両側面付近では、この側面との摩擦で冷却水の流速が低下することによって境界層が発生する。

【0030】これらのことは、各マイクロチャンネル16の水路16aを流れる冷却水の流速分布の不均一を招き、その結果、各一次元LDアレイ素子1の温度にばらつきが生じて、各一次元LDアレイ素子1の発振特性のばらつきを招くことになり、ひいてはLD励起スラブ固体レーザー装置の出力低下につながる。

【0031】② 固体レーザー装置の励起(半導体レーザービームの照射)に関する課題

例えば図27に示すように励起源LD装置2(図22参照)から発振される半導体レーザービームをスラブ型YAG結晶41に照射して励起させる場合、詳細は後述するが、ジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償が有効に行われて高品質のYAGレーザービーム42を得るためには、スラブ型YAG結晶41の厚み方向の温度分布は中心部をピークとした対称の温度分布(図26(b)参照)とし、側面幅方向や長手方向の温度分布は均一とする必要があるが、そのためには、半導体レーザービームを単にスラブ型YAG結晶41の両側面41a, 41bに照射するだけでなく、半導体レーザービームの照射幅に

ついても考慮する必要がある。

【0032】また、半導体レーザービームの拡がりや反射(透過板からの反射; 詳細後述)のために半導体レーザービームの一部或いは全部がスラブ型結晶に照射されない場合には、LD励起スラブ固体レーザー装置は発振効率が低下する或いは発振しなくなる。更には、半導体レーザービームが励起源LD装置にダイレクトに反射してくると、励起源LD装置に悪影響を及ぼすことにもなる。従って、このような半導体レーザービームの拡がりや反射に着目して、半導体レーザービームの照射部の構造に工夫を施す必要がある。

【0033】また、図27(b)中に一点鎖線で示すように、スラブ型YAG結晶41は励起源LD装置2から発振された半導体レーザービームの照射による発熱で長手方向に伸びる際に、側面41a側と側面41b側との伸長差から、厚み方向に(図27中上下方向)に曲がってしまう。このようにスラブ型YAG結晶41が曲がってしまうと、スラブ型YAG結晶41内において光がジグザグに伝播する際に、光の反射角度を一定(30.9°)に維持できなくなるため、YAGレーザービーム42の発散角が大きくなって品質が低下してしまう。

【0034】③ スラブ型結晶の冷却に関する課題  
上記のように、ジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償が有効に行われて高品質の固体レーザービームを得るためには、スラブ型結晶の厚み方向の温度分布は中心部をピークとした対称の温度分布とし、側面幅方向や長手方向の温度分布は均一とする必要があるが、このためには、スラブ型結晶の両側面のみを冷却し、その他の部分は断熱する必要がある。

【0035】また、スラブ型結晶の両側に透過板を設けて水路を形成する場合(詳細後述)、スラブ型結晶側及び透過板側において冷却水を確実にシールする必要がある、且つ、シール部材は容易に着脱できることが望ましい。

【0036】また、スラブ型結晶から前記水路を流れる冷却水への熱伝達率はできるだけ高くし、また、前記温度分布の観点からスラブ型結晶の側面をできるだけ均一に冷却することが必要である。

【0037】以上、①～③の課題の課題のうち、特に、本発明では上記③の課題を解決することを目的とする。

【0038】即ち、本発明は上記従来技術に鑑み、スラブ型結晶内の温度分布をジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償が有効に行われる状態に維持し、冷媒を確実にシールし、また、シール部材の着脱が容易であり、スラブ型結晶から冷媒への熱伝達率が高く、或いは、スラブ型結晶の側面を均一に冷却することが可能なスラブ型結晶の冷却構造を有するLD励起スラブ固体レーザー装置を提供することを課題とする。

【0039】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する第1

発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するように構成すると共に、前記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザビームを吸収して発熱することのないシール部材を設けたことを特徴とする。

【0040】また、第2発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、第1発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記シール部材と前記スラブ型結晶を保持するスラブホルダーとの隙間にスペーサ用薄板を挿入して、前記シール部材を前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする。

【0041】また、第3発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、第1発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、スラブホルダーを構成する一方の部材のスラブ型結晶挿入部の側面を斜面構造とし、且つ、前記スラブホルダーを構成する他方の蓋としての部材のスラブ型結晶挿入部の側面も斜面構造として、前記両部材を合体させたときに前記シール部材を前記両側面で締め付けて前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする。

【0042】また、第4発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記冷媒流路の流路断面積が冷媒流路系で最も小さくなるように構成したことを特徴とする。

【0043】また、第5発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記冷媒流路の流路幅を調節して冷媒の流速を調節することにより、前記冷媒流路における冷媒の流れが乱流となるように構成したことを特徴とする。

【0044】また、第6発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまで

の伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記透過板の前記スラブ型結晶側の面を透過板ホルダーに面接触として、前記冷媒流路の幅を一定に保持するように構成したことを特徴とする。

【0045】また、第7発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記透過板の角にはリングを装着可能な曲率を施して前記透過板の全周にリングを装着し、且つ、透過板ホルダーの前記リングとの接触面を斜面構造として、前記透過板の全周と前記透過板ホルダーとの間の前記リングをリング押えで押さえて潰すことにより、前記冷媒流路を流れる冷媒をシールする構成としたことを特徴とする。

【0046】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づき詳細に説明する。

【0047】図1は本発明の実施の形態に係るLD励起スラブYAGレーザ装置の全体構成を示す系統図、図2は前記LD励起スラブYAGレーザ装置の本体部を一部破断して示す側面図（図3のF方向矢視図）、図3は図2のA-A線矢視断面図、図4は図2のB-B線矢視断面図、図5は前記LD励起スラブYAGレーザ装置に備えた励起源LD装置の本体部を示す拡大斜視図、図6は前記励起源LD装置のマニホールドに備えた整流板の拡大斜視図、図7は図3のスラブホルダー部を抽出して示す拡大図、図8はコリメートレンズを備えた場合の構成を示す要部断面図である。

【0048】図9は半導体レーザビームの照射幅がスラブ型YAG結晶の側面幅よりも狭い場合の状態を示す説明図、図10はスラブ型YAG結晶の側面幅全面に半導体レーザビームを照射した場合のスラブ型YAG結晶内の温度分布と屈折率分布とを示す説明図、図11はスラブ型YAG結晶の側面幅よりも半導体レーザビームの照射幅の方が狭い場合（集光照射の場合）のスラブ型YAG結晶内の温度分布と屈折率分布とを示す説明図である。

【0049】図12は図2のD-D線矢視断面拡大図、図13は図4のE部拡大図、図14は透過板ホルダーの表面図（図7のF方向矢視図）、図15は前記透過板ホルダーの裏面図、図16(a)、(b)、(c)、(d)は図14のG-G線矢視断面図、H-H線矢視断面図、J-J線矢視断面図及びK方向矢視図、図17(a)、(b)は図14のL-L線矢視断面図及びM-M線矢視断面図、図18は図17(a)のN1部及びN



2部拡大図、図19(a), (b), (c)は透過板の正面図、側面図及び裏面図、図20は前記LD励起スラブYAGレーザ装置の本体部を光軸調整台に取り付けた状態を示す側面図、図21は前記マニホールド内を流れる冷却水の流速分布試験結果を示す説明図である。

【0050】<構成>図1に示すように、本実施の形態に係るLD励起スラブYAGレーザ装置51は、装置本体部52と、冷却水循環系統53とから構成されている。装置本体部52には、スラブ型YAG結晶82を保持するスラブホルダー部54と、励起源としてスラブホルダー部54の両側に配設された一对の励起源LD装置56とを有している。これら一对の励起源LD装置56は対称形であり同一の構成である。

【0051】冷却水循環系統53は、一方の励起源LD装置56へ冷却水を循環する第1冷却水ループ57と、他方の励起源LD装置56へ冷却水を循環する第2冷却水ループ58と、スラブホルダー部54へ冷却水を循環する第3冷却水ループ59の3系統を有しており、これらが各々個別に温調冷却水循環器60に接続されている。

【0052】そして、第1冷却水ループ57で循環される冷却水によって、一方の励起源LD装置56の二次元LDアレイ素子を構成する各一次元LDアレイ素子(図1では図示せず)が冷却され、第2冷却水ループ58で循環される冷却水によって、他方の励起源LD装置56の二次元LDアレイ素子を構成する各一次元LDアレイ素子(図1では図示せず)が冷却され、また、第3冷却水ループ59で循環される冷却水によって、スラブホルダー部54のスラブ型YAG結晶82が冷却されるようになっている。なお、第3冷却水ループ59では、冷却水を途中で分流してスラブ型YAG結晶82の両側面をそれぞれ冷却した後、再び合流させるようになっている。

【0053】冷却水としては電気的絶縁性を高めるために純水が用いられている。なお、冷却水以外にも冷媒としてはアルコール等を用いることができるが、一般には水(純水)が用いられる。

【0054】以下、図2、図3等に基づいて装置本体部52の構成を詳細に説明する。

【0055】図2及び図3に示すように、励起源LD装置56の中央部には励起源LD装置本体部65が設けられている。この励起源LD装置本体部65は、多数の一次元LDアレイ素子64を積層してなる二次元LDアレイ素子61と、多数のマイクロチャンネル63を積層してなるマイクロチャンネル群62とからなる。

【0056】即ち、図5に示すように、水路63aを有するマイクロチャンネル63と一次元半導体レーザアレイ素子64とが、YAGレーザビームの光軸方向(矢印X方向)に交互に積層されて、二次元LDアレイ素子61とマイクロチャンネル群62とが構成されており、こ

のマイクロチャンネル群62の各マイクロチャンネル63の水路63aがパラレルになると共に各水路63aを流れる冷却水によって各一次元LDアレイ素子64を直接的に冷却する構造となっている。なお、積層される一次元LDアレイ素子64の素子数は、固体レーザ装置51の出力に応じた数であり、例えば42素子とする。

【0057】マイクロチャンネル63の間には、一次元LDアレイ素子64の他、この一次元LDアレイ素子64と重なり合わないようになして平面的に並べられた絶縁材66が介装されている。また、各一次元LDアレイ素子64は導電性の接着材によってマイクロチャンネル63に電気的及び物理的に接着されており、これらの一次元LDアレイ素子64に対し、図示しない電極を介して、一次元LDアレイ素子64の積層方向(矢印X方向)に通電されるようになっている。このため、マイクロチャンネル16の材質としては導電性及び熱伝導性に優れたものを選択する必要がある、本実施の形態では銅が選択されている。なお、励起源LD装置本体部65の製造プロセスは、図22に示す従来の励起源LD装置2の本体部と同様である。

【0058】しかし、従来の励起源LD装置2では、一次元LDアレイ素子1の配置に特に注意が払われていなかったのに対して、本励起源LD装置56では、図3及び図5に示すように、各マイクロチャンネル63の水路63aの入口から所定の距離Lまでの区間を助走区間67とし、この助走区間67が設けられた位置に一次元LDアレイ素子64がそれぞれ配置されている。

【0059】この助走区間67の距離Lは、各マイクロチャンネル63の水路63aに流入した冷却水の流れが安定するまでの距離となっている。つまり、各マイクロチャンネル63の水路63a内に冷却水が流入したとき、この冷却水の流れに乱れを生じ、また、その乱れ具合も各水路63aごとに異なる。しかし、これらの冷却水は何れも各水路63内を流れて行くうちに流れが安定し、均一な流れとなる。そこで、上記のように各マイクロチャンネル63の水路63aに流入した冷却水の流れが安定するまでの区間を助走区間67とし、この助走区間67を設けた位置に一次元LDアレイ素子64が配置されている。

【0060】また、図4に示すように、マイクロチャンネル群62において、YAGレーザビームの光軸方向(矢印X方向)の両端部に位置する複数のマイクロチャンネル63に対しては一次元LDアレイ素子64が介装されておらず、これらのマイクロチャンネル63はダミーチャンネル68となっている。この理由については後述する。

【0061】図2及び図3に示すように、マイクロチャンネル群62からなパラレルの直接冷却構造部の入口側と出口側には、絶縁材であるアクリルによって構成されたマニホールド69とマニホールド70とがそれぞれ設け

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

られている。また、入口側のマニホールド69の上流端部には、マニホールド69に対して垂直にLD素子冷却水入口71が設けられ、出口側のマニホールド70の下流端部には、マニホールド70に対して垂直にLD素子冷却水出口72が設けられている。

【0062】即ち、冷却水は、図2、図3中に矢印で示すように、LD素子冷却水入口71からマニホールド69内に流入し、この流入方向と直交する方向にマニホールド69内を流れた後、マイクロチャンネル群62の各マイクロチャンネル63の水路63aに分かれて流入し、ここで、各水路63a内を真っ直ぐ平行に流れて各一次元LDアレイ素子64をそれぞれ冷却した後、マニホールド70内へ流出して合流し、更に、このマニホールド70を流れてLD素子冷却水出口72から排出されるようになっている。

【0063】入口側のマニホールド69は、両側面69c、69dの間隔が上流側のLD素子冷却水入口71から下流側のマイクロチャンネル群62に向って拡がる拡散部69aと、前記間隔が一定の平行部69bとから構成されている。

【0064】このため、LD素子冷却水入口71からマニホールドマニホールド69内に流入した冷却水は、拡散部69aで両側面69c、69dの拡がりに沿って拡散し、平行部69bに至る。その後、平行部69bにおいて冷却水は平行な流れとなるが、このとき、両側面69c、69d付近では、両側面69c、69dとの摩擦で冷却水の流速が低下することによって、図2中に2点鎖線で示すように境界層73a、73bが発生し、これらの境界層73a、73bがマイクロチャンネル群62に近づくにしたがって発達する。

【0065】これらの境界層73a、73bにおける冷却水と他の部分の冷却水とでは流速差が大きいので、これらの冷却水によって一次元LDアレイ素子64を冷却した場合には、両端部の一次元LDアレイ素子64とその他の部分の一次元LDアレイ素子64との温度差が非常に大きくなってしまふ。そこで、上記のように両端部に位置する複数のマイクロチャンネル63はダミーチャンネル68としている(図4参照)。即ち、境界層73a、73bによって冷却水の流速が主流の流速よりも低下する領域には、一次元LDアレイ素子64を設けないダミーのマイクロチャンネル63を配置して、これらのマイクロチャンネル63の水路63a内を流れる低流速の冷却水は一次元LDアレイ素子64の冷却に関与しないようにしている。

【0066】なお、ダミーチャンネル68となるマイクロチャンネル63の具体的な数は、境界層73a、73bの厚さ(図2中の矢印X方向の幅)と、1つのマイクロチャンネル63の厚さによって決められる。例えば、水路63aの入口における境界層73a、73bの厚さが4mmであり、1つのマイクロチャンネル63の

厚さが3mmであるとすれば、両端部の2つのマイクロチャンネル63をダミーチャンネル68とすればよい。

【0067】また、マニホールド69の拡散部69aと平行部69bには、冷却水の流速分布を均一にするために、整流板74、75と整流板76とがそれぞれ設けられている。マニホールド69内では、中央部の主流は速く、両側部の流れは遅い流速分布となる。従って、このようなマニホールド69内における流速分布を均一にして、図2中に二点鎖線で示すように各マイクロチャンネル63の水路63aにおける冷却水の流速分布110を均一にするために、整流板74、75、76が設けられている。なお、流速分布110は図2中の左右方向がマイクロチャンネル位置、図2中の上下方向が流速である。

【0068】図6に示すように、平行部69bの整流板76は、アクリルで形成された長形状の真っ直ぐな板であって、平行部69bにおける冷却水の流れに直交するように配設されると共に、多数のパンチ孔76aが千鳥格子状に開けられた多孔板となっており、これらの孔76aのピッチや大きさが適宜調節されて、主流と両側の流れとに適度な圧力損失を生じさせるようになっている。即ち、整流板76の中央部は流れにくく、両側部は流れ易くなっている。

【0069】拡散部69aの整流板74、75は、アクリルで形成された長形状の板を拡散部69aの拡がりに応じた曲率で湾曲させたものであって、下流側に凸となるように配設されると共に、上記の整流板76と同様に、多数の孔74a、75aが千鳥格子状にそれぞれ開けられた多孔板となっており、これらの孔74a、75aのピッチや大きさが適宜調節されて、主流と両側の流れとに適度な圧力損失を生じさせるようになっている。即ち、整流板74、75の中央部は流れにくく、両側部は流れ易くなっている。また、上記のように整流板74、75を湾曲させているのは、拡散部69aの拡がりに沿って拡散する冷却水の流れ方向に対し何れの位置でも直交するようにして条件が同じになるようにするためである。

【0070】なお、整流板74、75、76としては多孔板に限定するものではなく、メッシュであってもよい。

【0071】また、図2に示すように、出口側のマニホールド70は、両側面70c、70dの間隔が下流側のLD素子冷却水出口72に向かって狭まる縮流部70aと、マイクロチャンネル群62(マイクロチャンネル63の水路63a;図3参照)を出た冷却水が縮流部70aに至るまでの助走区間として設けた前記間隔が一定の平行部70bとから構成されている。

【0072】一方、図7に示すように、スラブホルダー部54には、スラブホルダー80と透過板ホルダー81とが設けられている。

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

【0073】スラブホルダー80は、金属製の2枚の板状部材80a、80bを合体したものであり、その中央部に挿入されたスラブ型YAG結晶82を保持している。透過板ホルダー81は、金属製の板状部材であってスラブホルダー80の両側に一對設けられており、それぞれの中央部に挿入された透過板(石英板)83を保持している。そして、これら一對の透過板ホルダー81がリング84を介してスラブホルダー80を挟持した状態で一体的に結合されて、スラブホルダー部54が構成されている。

【0074】スラブ型YAG結晶82の図7中左右両側には二次元LDアレイ素子61が位置しており、これらの二次元LDアレイ素子61の各一次元LDアレイ素子64から発振された半導体レーザービーム85が、透過板83を透過してスラブ型YAG結晶82の両側面82a、82bに照射されるようになっている。

【0075】なお、励起源LD装置56の光軸と、スラブ型YAG結晶82の光軸とを一致させて直交させるために、図3に示すピン穴104がスラブホルダー部54と両側のマニホールド69、70部とを貫通して4箇所設けられ、これらのピン穴104に図2に示すように4本のピン105がそれぞれ挿通されている。このため、励起源LD装置56の光軸とスラブ型YAG結晶82の光軸とを確実に一致させて直交させることができる。

【0076】また、図7に示すように、半導体レーザービーム85の照射幅と、スラブ型YAG結晶82の側面82a、82bの幅とが一致するように、一次元LDアレイ素子64(二次元LDアレイ素子61)とスラブ型YAG結晶82との距離xが調節されている。即ち、半導体レーザービーム85は比較的大きな発散角(10~20°程度)を有しており、伝搬するにしたがってその幅が広がっていく。このため、側面82a、82bの位置で丁度半導体レーザービーム85の幅(照射幅)が側面82a、82bの幅と一致するように、一次元LDアレイ素子64とスラブ型YAG結晶82との距離xが調節されている。

【0077】或いは、図8に示すように、一次元LDアレイ素子64(二次元LDアレイ素子61)とスラブ型YAG結晶82との間にコリメートレンズ(シリンドリカルレンズ)111を設け、このコリメートレンズ111で半導体レーザービーム85の拡がりを抑えて、半導体レーザービーム85の照射幅とスラブ型YAG結晶82の側面82a、82bの幅とを一致させるようにしてもよい。

【0078】しかしながら、個々のLD素子ごとの半導体レーザービームの発散角にはばらつきがあり、また、前記発散角は10~20°と比較的大きいため、一次元LDアレイ素子64から発振される半導体レーザービーム85の照射幅とスラブ型YAG結晶82の側面82a、8

2bの幅とを、全ての一次元LDアレイ素子64において完全に一致させることは困難であり、一部の一次元LDアレイ素子64では半導体レーザービーム85の照射幅の方が、側面82a、82bの幅よりも多少大きくなってしまふ。従って、このままでは半導体レーザービーム85の一部が側面82a、82bから外れてYAGレーザー媒質の励起に寄与しなくなってしまい、励起効率が低下してしまう。

【0079】そこで、図7に示すように、半導体レーザービーム85がスラブ型YAG結晶82の側面82a、82bへ照射されるまでの伝搬光路中に反射面87を設け、この反射面87で、半導体レーザービーム85の拡がりによって側面82a、82bから外れてしまう半導体レーザービーム85の一部を側面82a、82bへと反射させるようになっている。なお、反射面87はリング押え88の一部であり、このリング押え88の内周面が研磨されて反射面87となっている。

【0080】また、反射面87(即ちリング押え88)は、スラブ型YAG結晶82の周囲を囲むように設けられており、図4に示すように、スラブ型YAG結晶82の長手方向(矢印X方向)の両側でも、スラブ型YAG結晶82の側面82a、82bから前記長手方向に外れる半導体レーザービーム85の一部を、側面82a、82bへと反射させるようになっている。

【0081】ところで、図9に示すように、スラブ型YAG結晶82と二次元LDアレイ素子61との間隔を狭めて、或いはレンズで半導体レーザービーム85を集光して、半導体レーザービーム85の照射幅W1をスラブ型YAG結晶82の側面82a、82bの幅W2よりも小さくすれば、半導体レーザービーム85を全て側面82a、82bに照射することができるが、このようにした場合にはYAGレーザービームの品質が低下してしまう。

【0082】つまり、半導体レーザービーム85をスラブ型YAG結晶82の側面82a、82bの全体に照射した場合には、この側面幅全体が励起して発熱するため、図10(a)に示すようにスラブ型YAG結晶82の側面幅方向(図10中左右方向)が均一の温度分布になり、図10(b)に示すように前記側面幅方向が均一の屈折率分布となる。これに対して、半導体レーザービーム85の照射幅を側面82a、82bの幅よりも小さくした場合には、前記側面幅方向の両端部は励起せずに発熱しないため、図11(a)に示すように前記側面幅方向が均一の温度分布にはならず、図11(b)に示すように前記側面幅方向が均一の屈折率分布にはならない。従って、この場合にはジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償が不十分となり、YAGレーザービームの品質が低下してしまう。

【0083】このため、スラブ型YAG結晶82の側面幅全体に半導体レーザービーム85を照射する必要がある。そこで、上記のように、半導体レーザービーム85の

照射幅とスラブ型YAG結晶82の側面82a, 82bの幅とをできるだけ一致させると共に、スラブ型YAG結晶82の側面82a, 82bから外れた半導体レーザービーム85の一部は反射面87によって側面82a, 82bへと反射されるように構成されている。

【0084】また、図7に示すように、各一次元LDアレイ素子64から発振された半導体レーザービーム85がスラブ型YAG結晶82へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板83を配設して、この透過板83とスラブ型YAG結晶82の側面82a, 82bとの間に水路90が形成されている。そして、この水路90は流路断面積が水路系で最も小さくなるように構成され、且つ、水路90を流れる冷却水の流動状態が乱流となるように水路幅が調節（例えば1mm程度に設定）されて流速が調節されている。前記水路系は、透過板ホルダー81、透過板83、スラブ型YAG結晶82及びスラブホルダー80によって構成された水路90, 91, 92からなっている。

【0085】詳述すると、図14～図17に示すように、透過板ホルダー81の中央部には透過板83を収容して保持するための長形状の孔81aが形成されると共に、この孔81aの両側には孔81aに沿って凹部81b, 81cがそれぞれ形成されており、また、凹部81b, 81cの端には流入孔81dと流出孔81eとがそれぞれ形成されている。そして、図7に示すように、透過板ホルダー81の凹部81b, 81cとスラブホルダー80の側面とによって水路91, 92がそれぞれ構成されている。

【0086】一方、図2に示すように、励起源LD装置56の出口側マニホールド70の上流部の右側にはスラブ結晶冷却水入口94が設けられ、入口側マニホールド69の下流部の左側にはスラブ結晶冷却水出口95が設けられている。そして、図12に示すようにスラブ結晶冷却水入口94はスラブホルダー81の流入孔81dに通じており、図4に示すようにスラブ結晶冷却水出口95はスラブホルダー81の流出孔81eに通じている。

【0087】従って、図7中に矢印で示すように、スラブ結晶冷却水入口94（図3参照）から流入した冷却水は、水路91、水路90、水路92を順に流れて、スラブ結晶冷却水出口95（図3参照）から排出される。なお、スラブ型YAG結晶82の一方の側面82a側と他方の側面82b側とでは、図3に示すようにスラブ結晶冷却水入口94とスラブ結晶冷却水出口95とが逆に設けられており、図7中に矢印で示すように冷却水の流れる方向が逆になっている。

【0088】そして、この水路系において、上記のように水路90の流路断面積が最も小さくなるように構成されている。これは水路90において冷却水の流速が最も速くなるようにしてスラブ型YAG結晶82から冷却水への熱伝達率を高めるためである。また、上記のように

水路90を流れる冷却水の流動状態が乱流となるように水路90の水路幅が設定されているが、これは層流の熱伝達率に比べて乱流の熱伝達率の方が格段に高いためである。

【0089】また、図19に示すように、透過板83は長形状に形成されており、裏面（スラブ型YAG結晶側の面）の長手方向両端部には斜面構造の接触面83a, 83bが形成されている。一方、図18に示すように、透過板ホルダー81の孔81aの周縁の長手方向両端部には、斜面構造の接触面81f, 81gが形成されている。そして、透過板83の接触面83a, 83bと透過板ホルダー81の接触面81f, 81gとを面接触させることにより、透過板83の図18中上下位置を規定して、水路90の幅（即ち透過板83とスラブ型YAG結晶82との間隔）を例えば1mmに正確に保持している（図13参照）。

【0090】これは、透過板83の裏面側にリング等のシール部材を介装して透過板ホルダー81で支持するようにすると、前記シール部材が変形して水路90の幅を正確に保持できないためである。水路90の幅を正確に保持することができないと、水路90の各部においてスラブ型YAG結晶82の冷却にアンバランスが生じ、その結果、スラブ型YAG結晶82内の温度分布に影響を与えてYAGレーザービームの品質低下を招いてしまう。従って、このような不具合を防止するために、上記のように透過板83と透過板ホルダー81とを面接触としている。

【0091】しかも、図19に示すように、透過板83の裏面には、長手方向の両端にのみ接触面83a, 83bが形成され、その他の部分には接触面が形成されていない。また、図14に示すように、透過板ホルダー81の孔81の周縁にも、長手方向の両端にのみ接触面81f, 81gが形成され、その他の部分には接触面が形成されていない。即ち、透過板83は長手方向両端の接触面83a, 83bでのみ透過板ホルダー81に支持されている。

【0092】これは、水路90（図7、図13参照）における冷却水の流れに影響を与えないためである。つまり、図7又は図19（c）に矢印で示すように、水路90において冷却水は透過板83の側面幅方向に流れるようになっており、このことから、透過板83の側面幅方向に接触面を形成して透過板ホルダー81と面接触させるように構成すると、当該面接触部に段差ができて冷却水の流れが乱されてしまう。このため、上記のように透過板83は冷却水の流れに影響を与えない長手方向両端の接触面83a, 83bでのみ透過板ホルダー81の接触面81f, 81gに面接触して支持されるように構成されている。

【0093】また、図19（c）に示すように透過板83の四隅83c, 83d, 83e, 83fにはリング

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

を装着可能な曲率が施されており、図7又は図13に示すように透過板83の全周にはリング97が装着されている。一方、図13に示すように透過板ホルダー81のリング97との接触面81hは斜面構造となっている。そして、透過板83の全周と透過板ホルダー81の間のリング97が、透過板ホルダー81の孔81aの周縁にボルトで固定されたリング押え88で押さえられて潰されることにより、透過板ホルダー81と透過板83とに密着して、水路90を流れる冷却水のシール構造が構成されている。なお、リング押え88はリング97を押えるのと同時に、透過板83も押えるようになっている。

【0094】また、図7に示すように、透過板83の励起源LD装置側（二次元LDアレイ素子側）の面には、半導体レーザービーム85の波長帯に対応した無反射コーティング膜（誘電体多層膜）93が施されている。一方、透過板83のスラブ型YAG結晶側の面には、無反射コーティング膜が施されていない。

【0095】透過板83の励起源LD装置側の面は空気に接しており、空気と透過板83は屈折率が異なる。従って、このままでは半導体レーザービーム85が透過板83の励起源LD装置側の面で反射されしまうため、スラブ型YAG結晶82の側面82a、82bに照射されない、或いは、励起源LD装置側にダイレクトに戻って励起源LD装置56に悪影響を及ぼす。

【0096】このため、上記のように、透過板83の励起源LD装置側の面には半導体レーザービーム85を反射しないように無反射コーティング膜93が施されている。一方、透過板83のスラブ型YAG結晶側の面は冷却水に接しており、水と透過板83は屈折率が近いので、この面では半導体レーザービーム85が反射されないため、この面には無反射コーティング膜を施す必要がない。

【0097】また、図7に示すように、スラブ型YAG結晶82の側面幅方向（図7中上下方向）の両端面82c、82dには、シール部材86a、86bが設けられている。具体的には、スラブ型YAG結晶82の両端面82c、82dにシール部材86a、86bを装着したものを、スラブホルダー80の中央部に挿入し、その後、スペーサー用薄板96a、96bをシール部材86a、86bとスラブホルダー80との隙間に挿入することにより、シール部材86a、86bをスラブ型YAG結晶82及びスラブホルダー80に密着させてシール性を向上させ、且つ、シール部材86a、86bの着脱が容易な構造となっている。

【0098】なお、スラブホルダー80を構成する一方の板状部材80aのスラブ型YAG結晶挿入部の側面80a-1を、図7中に一点鎖線で示すように斜面構造とし、且つ、スラブホルダー80を構成する他方の蓋としての板状部材80bのスラブ型YAG結晶挿入部の側面

80b-1も、図7中に一点鎖線で示すように斜面構造として、両板状部材80a、80bを合体させたときに、シール部材86a、86bが前記側面80a-1、80b-1に締め付けられることによりスラブ型YAG結晶82及びスラブホルダー80に密着してシール機能を発揮するような構造としてもよい。この場合にも、着脱の容易性は維持される。

【0099】また、シール部材86a、86bとしては、水路90を流れる冷却水をシールし、スラブ型YAG結晶82の両端面82c、82dを断熱し、且つ、半導体レーザービーム85を吸収して発熱することのない（即ち半導体レーザービーム85を反射する）材質のものとして、シリコン製で半透明のシール部材が用いられている。

【0100】もし、シール部材86a、86bが黒色等の部材であり半導体レーザービーム85を吸収して発熱するものである場合には、この発熱によってシール部材86が溶けてしまう虞があり、更には、スラブ型YAG結晶82の温度分布に対して悪影響を及ぼすことになる。即ち、スラブ型YAG結晶82の側面幅方向の温度分布が変化して均一でなくなってしまう。

【0101】上記のようにスラブ型YAG結晶82内では光が厚さ方向（図7中左右方向）にジグザグに反射しながら長手方向（図7の紙面と直交する方向）に伝搬して熱レンズ光学補償が行われるため、側面幅方向の温度分布が変化して均一でなくなってしまうと、充分な熱レンズ光学補償を行うことができなくなってしまう。

【0102】このため、シール部材86a、86bには半導体レーザービーム85を吸収して発熱することのないものを選択する必要がある。また、スラブ型YAG結晶82の両端面82c、82d側から熱が放出されることも、上記の理由から好ましくない。このため、両端面82c、82d側はシール部材86a、86bによって断熱する必要がある。

【0103】また、図4に示すように、スラブ型YAG結晶82の長手方向（矢印X方向）の両端部は、励起源LD装置56から発振された半導体レーザービーム85が照射されない非照射領域（非励起領域）82e、82fとなっている。この非照射領域82e、82fは、半導体レーザービーム85の照射による発熱でスラブ型YAG結晶82が長手方向に伸びる際に、厚み方向に曲がることなく（図27（b）参照）長手方向に真直ぐに伸びるようするために設けられた領域であり、計算で求めた結果から、スラブ型YAG結晶82の全長の少なくとも15%の領域である。即ち、非照射領域82e、82fの長さL2はスラブ型YAG結晶82の全長L1の15%以上であり、この非照射領域82e、82f以外の長さL3の部分が照射領域（励起領域）82gとなっている。

【0104】なお、非照射領域82e、82fはスラブ

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

型YAG結晶全長の15%以上であればいくらでもよいが、必要最小限以上に非照射領域82e, 82fを大きくしても、その分だけ無駄になるため、スラブ型YAG結晶全長の15%とすることが最も望ましいといえる。

【0105】また、図20に示すように、光軸調整台100の両端部には共振器101を構成する部分透過の出力ミラー101aと全反射ミラー101bとが設置されており、これら一対の反射ミラー101a, 101bの間に装置本体部52が設置されるが、このとき、共振器101の光軸と、装置本体部52に設けられたスラブ型YAG結晶82の光軸とを一致させる必要がある。

【0106】このため、図7に示すようにスラブホルダー54の下端部にはピン穴102が2箇所設けられており、図20に示すように装置本体部52を光軸調整台100に取り付ける際には、光軸調整台100の2箇所に突設された図示しないピンにピン穴102を嵌合させることによって、共振器101の光軸とスラブ型YAG結晶82の光軸とを確実に一致させることができるようになっている。

【0107】＜作用・効果＞本実施の形態に係るLD励起スラブYAGレーザ装置51によれば、特に、次のような作用・効果が得られる。

【0108】(1) また、スラブ型YAG結晶82の側面幅方向の両端面82c, 82dには、冷却水をシールし、両端面82c, 82dを断熱し、且つ、半導体レーザビーム85を吸収して発熱することのないシール部材86a, 86bを設けたため、このシール部材86a, 86bによって冷却水をシールすると同時に、スラブ型YAG結晶82の温度分布を、ジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償を行うのに適した状態に維持することができる。このため、YAGレーザビームの品質が向上する。

【0109】(2) また、シール部材86a, 86bとスラブホルダー80との隙間にスペーサ用薄板96a, 96bを挿入して、シール部材86a, 86bをスラブ型YAG結晶82及びスラブホルダー80に密着させるように構成したため、冷却水を確実にシールすることができると共にシール部材86a, 86bの着脱が容易である。

【0110】(3) また、スラブホルダー80を構成する一方の板状部材80aのスラブ型YAG結晶挿入部の側面80a-1を斜面構造とし、且つ、スラブホルダー80を構成する他方の蓋としての板状部材80bのスラブ型YAG結晶挿入部の側面80b-1も斜面構造として、両板状部材80a, 80bを合体させたときにシール部材86a, 86bを前記両側面80a-1, 80b-1で締め付けてスラブ型YAG結晶82及びスラブホルダー80に密着させるように構成した場合にも、冷却水を確実にシールすることができると共にシール部材86a, 86bの着脱が容易である。

【0111】(4) また、透過板83とスラブ型YAG結晶82の側面82a, 82bとの間に形成した水路90の流路断面積が水路系で最も小さくなるようにしたことにより、水路系を流れる冷却水は水路90において流速が最も速くなるため、スラブ型YAG結晶82から冷却水への熱伝達率が高められて、スラブ型YAG結晶82の冷却能力が向上する。

【0112】(5) また、水路90の流路幅を調節して冷却水の流速を調節することにより、この水路90における冷却水の流れが乱流となるように構成したため、層流場合に比べて格段に熱伝達率が高くなり、スラブ型YAG結晶82の冷却能力がより向上する。

【0113】(6) また、透過板83のスラブ型YAG結晶側の面を透過板ホルダー81に面接触として、水路90の幅を一定に保持するように構成したため、常に水路90の幅を一定（例えば1mm程度）に正確に保持することができる。従って、水路90の各部においてスラブ型YAG結晶82の冷却にアンバランスが生じることはない。このため、スラブ型YAG結晶82の側面82a, 82bを均一に冷却して、スラブ型YAG結晶82内の温度分布をジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償を行うのに適した状態に維持することができるため、YAGレーザビームの品質が向上する。

【0114】(7) また、透過板83の角にはリングを装着可能な曲率を施して透過板83の全周にリング97を装着し、且つ、透過板ホルダー81のリング97との接触面を斜面構造として、透過板83の全周と透過板ホルダー81との間のリング97をリング押え88で押さえて潰すことにより冷却水のシール構造を構成したため、リング97が透過板83と透過板ホルダー81とに密着して、冷却水を確実にシールすることができる。

【0115】また、本実施の形態に係るLD励起スラブYAGレーザ装置51によれば、更に、次のような作用・効果が得られる。

【0116】(8) マイクロチャンネル群62を構成する各マイクロチャンネル63の水路63aに流入した冷却水の流れが安定するまでの区間を助走区間67とし、この助走区間67を設けた位置に二次元LDアレイ素子61を構成する各一次元LDアレイ素子64が配置されているため、これら全ての一次元LDアレイ素子64が安定した均一な流れの冷却水によって冷却されることになる。

【0117】このため、各一次元LDアレイ素子64を均一に冷却することができ、各一次元LDアレイ素子64は均一な温度となつて発振特性がそろふ。従って、これらの一次元LDアレイ素子64から発振される半導体レーザビーム85をスラブ型YAG結晶82に照射することにより、YAGレーザ媒質の励起効率が向上して、LD励起スラブYAGレーザ装置51の出力が向上す

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

る。

【0118】(9) また、入口側のマニホールド69の平行部69bの両側面69c, 69dで発生する境界層73a, bによって冷却水の流速が主流の流速よりも低下する領域には、一次元LDアレイ素子64を設けないダミーチャンネル68が配置されているため、境界層73a, 73bにおける低流速の冷却水はダミーチャンネル68の水路63aを流れて一次元LDアレイ素子64の冷却には関与せず、境界層73a, 73b以外の冷却水のみが一次元LDアレイ素子64を設けた各マイクロチャンネル63の水路63aを流れて各一次元LDアレイ素子64を冷却することになる。

【0119】このため、各一次元LDアレイ素子64を冷却する冷却水の流速が、より均一化されることになり、その結果、各一次元LDアレイ素子64はより均一な温度となって、より発振特性がそろふ。従って、YAGレーザ媒質の励起効率がより向上し、LD励起スラブYAGレーザ装置51の出力がより向上する。

【0120】なお、境界層73a, 73bに対応する領域にダミーチャンネル63を設けずにこの領域を単に塞いだ場合には、この領域に隣接するマイクロチャンネル63の水路63aに境界層73a, 73bの冷却水が流入することになり、結局、各一次元LDアレイ素子64を均一に冷却することができなくなってしまう。従って、このことから、境界層73a, 73bに対応する領域にダミーチャンネル68を設けることは非常に有効であることがわかる。

【0121】(10) また、入口側のマニホールド69には整流板74, 75, 76が設けられているため、マニホールド69内を流れる冷却水の流速分布を均一にすることができる。

【0122】このため、更に、各マイクロチャンネル63の水路63aを流れる冷却水の流速分布を均一化することができ、各一次元LDアレイ素子64の温度が均一化されて発振特性がそろふ。従って、更に、YAGレーザ媒質の励起効率が向上して、LD励起スラブYAGレーザ装置51の出力が向上する。

【0123】なお、図21に示すように、マニホールド69内における冷却水の流速分布試験を行った結果、マニホールド69に整流板を設けない場合には、中央部の主流と両側部の流れとの流速差が大きかったが(図21中の白四角口)、マニホールド69に整流板74, 75, 76を設けた場合には、前記流速差が平均流速に対して±3%以内となり、流速分布が均一となった(図21中の黒四角■)。このことから整流板74, 75, 76の有効性が確認された。

【0124】(11) しかも、マニホールド69の平行部69bだけでなく拡散部69aにも整流板74, 75を設けたことによって、3枚の整流板74, 75, 76で流速分布を均一にすることができる。即ち、平行部

69bに整流板を設けることは必要であるが、この平行部69bにだけ整流板を設ける場合には、もっと多くの整流板を設けなければ流速分布を均一にすることができないが、主流と両側の流れとの流速差がまだあまり大きくない拡散部69aにも整流板を設けることによって、少ない枚数の整流板で流速分布を均一にすることができる。

【0125】(12) また、入口側のマニホールド69への冷却水の流入方向が、マイクロチャンネル63へと向かってマニホールド69内を流れる冷却水の流れ方向と直交するようにLD素子冷却水入口71が設けられているため、前記二方向が同方向である場合に比べて(図22参照)、主流の速度成分を緩和させることができ、主流と両側の流れとの流速差を小さくすることができる。

【0126】(13) また、出口側のマニホールド70には、各マイクロチャンネル63の水路63aを出た冷却水が縮流部70aに至るまでの助走区間として平行部70bが設けられているため、各マイクロチャンネル63の水路63aを流れる冷却水の流速分布を均一に維持することができる。つまり、縮流部70aがあまり水路63aの出口に近い位置にあると、各水路63aを流れる冷却水の流速に影響を与えて流速分布が変わってしまう。これに対して、助走区間として平行部70bを設ければ、このような流速分布の変化がなく、各水路63aを流れる冷却水の流速分布を均一に維持することができる。

【0127】(14) 一次元LDアレイ素子64とスラブ型YAG結晶82との距離xを調節して、励起源LD装置56から発振される半導体レーザビーム85の照射幅と、スラブ型YAG結晶82の側面82a, 82bの幅とが一致するように構成したため、半導体レーザビーム85がスラブ型YAG結晶82の側面幅全体に照射されてこの側面幅全体が励起することになる。このため、スラブ型YAG結晶82の側面幅方向が均一の温度分布となり、均一の屈折率分布となる。従って、このスラブ型YAG結晶82ではジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償が充分に行われて、YAGレーザビームの品質が向上する。

【0128】(15) また、一次元LDアレイ素子64とスラブ型YAG結晶82との間にコリメートレンズ111を設けて、励起源LD装置56から発振される半導体レーザビーム85の照射幅と、スラブ型YAG結晶82の側面82a, 82bの幅とが一致するように構成した場合にも、上記と同様に、半導体レーザビーム85がスラブ型YAG結晶82の側面幅全体に照射されてこの側面幅全体が励起することになり、スラブ型YAG結晶82の側面幅方向が均一の温度分布となって均一の屈折率分布となるため、このスラブ型YAG結晶82ではジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償が充分に行わ

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

れて、YAGレーザビームの品質が向上する。

【0129】(16) 更には、励起源LD装置56から発振された半導体レーザビーム85がスラブ型YAG結晶82の側面82a、82bへ照射されるまでの伝搬光路中に反射面87を設け、この反射面87で、半導体レーザビーム85の拡がりによって側面82a、82bから外れてしまう半導体レーザビーム85の一部を、側面82a、82bへと反射させるように構成したため、半導体レーザビーム85を全てYAGレーザ媒質の励起に寄与させることができ、LD励起スラブYAGレーザ装置51の出力が向上する。

【0130】(17) また、透過板83の励起源LD装置側の面には無反射コーティング膜93を施したため、透過板83と、透過板83の励起源LD装置側の面に接する空気との屈折率が異なっても、半導体レーザビーム85は透過板83の励起源LD装置側の面で反射されることなく透過板83を透過してスラブ型YAG結晶82に照射される。このため、YAGレーザ媒質の励起効率が向上する。また、半導体レーザビーム85がダイレクトに励起源LD装置56に戻って、励起源LD装置56に悪影響を与える虞がない。

【0131】(18) また、スラブ型YAG結晶82の長手方向両端部におけるスラブ型YAG結晶82の全長の少なくとも15%の領域を、励起源LD装置56から発振された半導体レーザビーム85が照射されない非照射領域82としたことにより、スラブ型YAG結晶82は半導体レーザビーム85の照射による発熱で長手方向に伸びる際に、厚み方向に曲がることなく長手方向に真直ぐに伸びる。このため、YAGレーザビームの品質を向上させることができる。

【0132】なお、本実施の形態ではYAGレーザ装置の場合を例に挙げて説明したが、これに限定するものではなく、本発明は他の固体レーザ装置にも適用することができる。

【0133】

【発明の効果】以上、発明の実施の形態と共に具体的に説明したように、第1発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するよう構成すると共に、前記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザビームを吸収して発熱することのないシール部材を設けたことを特徴とする。

【0134】従って、この第1発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置によれば、スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、冷却水をシールし、両端面を断熱

し、且つ、半導体レーザビームを吸収して発熱することのないシール部材を設けたため、このシール部材によって冷却水をシールすると同時に、スラブ型結晶の温度分布を、ジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償を行うのに適した状態に維持することができる。このため、固体レーザビームの品質が向上する。

【0135】また、第2発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置は、第1発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記シール部材と前記スラブ型結晶を保持するスラブホルダーとの隙間にスペーサ用薄板を挿入して、前記シール部材を前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする。

【0136】従って、この第2発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置によれば、シール部材とスラブホルダーとの隙間にスペーサ用薄板を挿入して、シール部材をスラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したため、冷媒を確実にシールすることができると共にシール部材の着脱が容易である。

【0137】また、第3発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置は、第1発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、スラブホルダーを構成する一方の部材のスラブ型結晶挿入部の側面を斜面構造とし、且つ、前記スラブホルダーを構成する他方の蓋としての部材のスラブ型結晶挿入部の側面も斜面構造として、前記両部材を合体させたときに前記シール部材を前記両側面で締め付けて前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする。

【0138】従って、この第3発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置によれば、スラブホルダーを構成する一方の部材のスラブ型結晶挿入部の側面を斜面構造とし、且つ、スラブホルダーを構成する他方の蓋としての部材のスラブ型結晶挿入部の側面も斜面構造として、前記両部材を合体させたときにシール部材を前記両側面で締め付けてスラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したため、上記第2発明と同様に、冷媒を確実にシールすることができると共にシール部材の着脱が容易である。

【0139】また、第4発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記冷媒流路の流路断面積が冷媒流路系で最も小さくなるように構成したことを特徴とする。

【0140】従って、この第4発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置によれば、透過板とスラブ型結晶の側面との間に形成した冷媒流路の流路断面積が冷媒流



## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

路系で最も小さくなるようにしたことにより、冷媒流路系を流れる冷却水は前記冷媒流路において流速が最も速くなるため、スラブ型結晶から冷媒への熱伝達率が高められて、スラブ型結晶の冷却能力が向上する。

【0141】また、第5発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記冷媒流路の流路幅を調節して冷媒の流速を調節することにより、前記冷媒流路における冷媒の流れが乱流となるように構成したことを特徴とする。

【0142】従って、この第5発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置によれば、透過板とスラブ型結晶の側面との間に形成した冷媒水路の流路幅を調節して冷媒の流速を調節することにより、この冷媒流路における冷媒の流れが乱流となるように構成したため、層流場合に比べて格段に熱伝達率が高くなり、スラブ型結晶の冷却能力がより向上する。

【0143】また、第6発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記透過板の前記スラブ型結晶側の面を透過板ホルダーに面接触として、前記冷媒流路の幅を一定に保持するよう構成したことを特徴とする。

【0144】従って、この第6発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置によれば、透過板のスラブ型結晶側の面を透過板ホルダーに面接触として、冷媒流路の幅を一定に保持するように構成したため、常に冷媒流路の幅を一定に正確に保持することができる。従って、冷媒流路の各部においてスラブ型結晶の冷却にアンバランスが生じることはない。このため、スラブ型結晶の側面を均一に冷却して、スラブ型結晶内の温度分布をジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償を行うのに適した状態に維持することができるため、固体レーザビームの品質が向上する。

【0145】また、第7発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記透過板の角にはリングを装着可能な曲率

を施して前記透過板の全周にリングを装着し、且つ、透過板ホルダーの前記リングとの接触面を斜面構造として、前記透過板の全周と前記透過板ホルダーとの間の前記リングをリング押えで押えて潰すことにより、前記冷媒流路を流れる冷媒をシールする構成としたことを特徴とする。

【0146】従って、この第7発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置によれば、透過板の角にはリングを装着可能な曲率を施して透過板の全周にリングを装着し、且つ、透過板ホルダーのリングとの接触面を斜面構造として、透過板の全周と透過板ホルダーとの間のリングをリング押えで潰すことにより冷媒のシール構造を構成したため、リングが透過板と透過板ホルダーとに密着して、冷媒を確実にシールすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係るLD励起スラブYAGレーザ装置の全体構成を示す系統図である。

【図2】前記LD励起スラブYAGレーザ装置の本体部を一部破断して示す側面図（図3のF方向矢視図）である。

【図3】図2のA-A線矢視断面図である。

【図4】図2のB-B線矢視断面拡大図である。

【図5】前記LD励起スラブYAGレーザ装置に備えた励起源LD装置の本体部を示す拡大斜視図である。

【図6】前記励起源LD装置のマニホールドに備えた整流板の拡大斜視図である。

【図7】図3のスラブホルダー部を抽出して示す拡大図である。

【図8】コリメートレンズを備えた場合の構成を示す要部断面図である。

【図9】半導体レーザビームの照射幅がスラブ型YAG結晶の側面幅よりも狭い場合の状態を示す説明図である。

【図10】スラブ型YAG結晶の側面幅全面に半導体レーザビームを照射した場合のスラブ型YAG結晶内の温度分布と屈折率分布とを示す説明図である。

【図11】スラブ型YAG結晶の側面幅よりも半導体レーザビームの照射幅の方が狭い場合（集光照射の場合）のスラブ型YAG結晶内の温度分布と屈折率分布とを示す説明図である。

【図12】図2のD-D線矢視断面拡大図である。

【図13】図4のE部拡大図である。

【図14】透過板ホルダーの表面図（図7のF方向矢視図）である。

【図15】前記透過板ホルダーの裏面図である。

【図16】（a）、（b）、（c）、（d）は図14のG-G線矢視断面図、H-H線矢視断面図、J-J線矢視断面図及びK方向矢視図である。

【図17】（a）、（b）は図14のL-L線矢視断面

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

図及びM-M線矢視断面図である。

【図18】図17(a)のN1部及びN2部拡大図である。

【図19】(a), (b), (c)は透過板の正面図、側面図及び裏面図である。

【図20】前記LD励起スラブYAGレーザ装置の本体部を光軸調整台に取り付けた状態を示す側面図である。

【図21】前記マニホールド内を流れる冷却水の流速分布試験結果を示す説明図である。

【図22】従来の励起源LD装置の斜視図である。

【図23】前記励起源LD装置の製造プロセスを示す工程図である。

【図24】前記励起源LD装置の製造プロセスを示す工程図である。

【図25】ロッド型YAG結晶を用いたYAGレーザ装置の概要を示す説明図である。

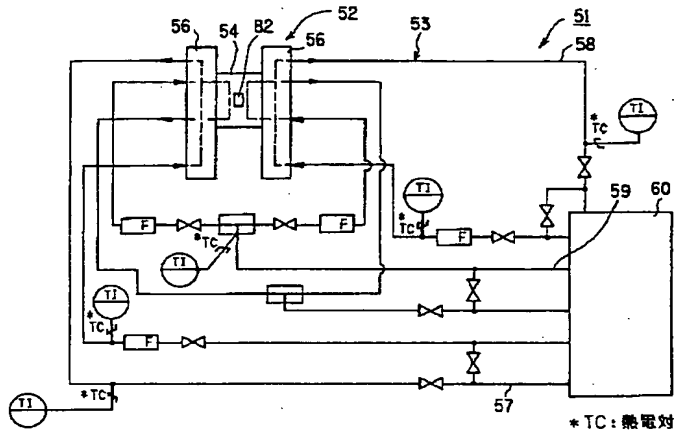
【図26】スラブ型YAG結晶を用いたYAGレーザ装置の概要を示す説明図である。

【図27】LD励起スラブYAGレーザ装置の概要を示す説明図である。

【符号の説明】

- |          |                 |                    |              |
|----------|-----------------|--------------------|--------------|
| 51       | LD励起スラブYAGレーザ装置 | 70                 | マニホールド       |
| 52       | 装置本体部           | 70a                | 縮流部          |
| 53       | 冷却水循環系統         | 70b                | 平行部          |
| 54       | スラブホルダー部        | 70c, 70d           | 側面           |
| 56       | 励起源LD装置         | 71                 | LD素子冷却水入口    |
| 57       | 第1冷却水ループ        | 72                 | LD素子冷却水出口    |
| 58       | 第2冷却水ループ        | 73a, 73b           | 境界層          |
| 59       | 第3冷却水ループ        | 74, 75, 76         | 整流板          |
| 60       | 温調冷却水循環器        | 74a, 75a, 76a      | 孔            |
| 61       | 二次元LDアレイ素子      | 80                 | スラブホルダー      |
| 62       | マイクロチャンネル群      | 80a, 80b           | 板状部材         |
| 63       | マイクロチャンネル       | 81                 | 透過板ホルダー      |
| 63a      | 水路              | 81a                | 孔            |
| 64       | 一次元LDアレイ素子      | 81b, 81c           | 凹部           |
| 65       | 励起源LD装置本体部      | 81d                | 流入孔          |
| 66       | 絶縁材             | 81e                | 流出孔          |
| 67       | 助走区間            | 81f, 81g           | 透過板との接触面     |
| 68       | ダミーチャンネル        | 81h                | リングとの接触面     |
| 69       | マニホールド          | 82                 | スラブ型YAG結晶    |
| 69a      | 拡散部             | 82a, 82b           | 側面           |
| 69b      | 平行部             | 82c, 82d           | 端面           |
| 69c, 69d | 側面              | 82e, 82f           | 非照射領域        |
|          |                 | 83                 | 透過板          |
|          |                 | 83a, 83b           | 透過板ホルダーとの接触面 |
|          |                 | 83c, 83d, 83e, 83f | 角            |
|          |                 | 84                 | リング          |
|          |                 | 85                 | 半導体レーザビーム    |
|          |                 | 86a, 86b           | シール部材        |
|          |                 | 87                 | 反射面          |
|          |                 | 88                 | リング押え        |
|          |                 | 90, 91, 92         | 水路           |
|          |                 | 93                 | 無反射コーティング膜   |
|          |                 | 94                 | スラブ結晶冷却水入口   |
|          |                 | 95                 | スラブ結晶冷却水出口   |
|          |                 | 96a, 96b           | スペーサ用薄板      |
|          |                 | 97                 | リング          |
|          |                 | 100                | 光軸調整台        |
|          |                 | 101                | 共振器          |
|          |                 | 101a               | 出力ミラー        |
|          |                 | 101b               | 全反射ミラー       |
|          |                 | 102, 104           | ピン穴          |
|          |                 | 105                | ピン           |
|          |                 | 111                | コリメートレンズ     |

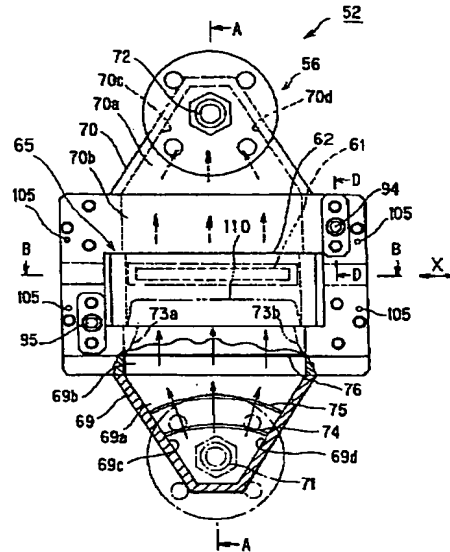
【図1】



- 51 LD励起スラブYAGレーザー装置  
52 装置本体部  
53 冷却水循環系統  
54 スラブホルダー部  
56 励起源LD装置  
57 第1冷却水ループ  
58 第2冷却水ループ  
59 第3冷却水ループ  
60 温調冷却水循環器  
82 スラブ型YAG結晶

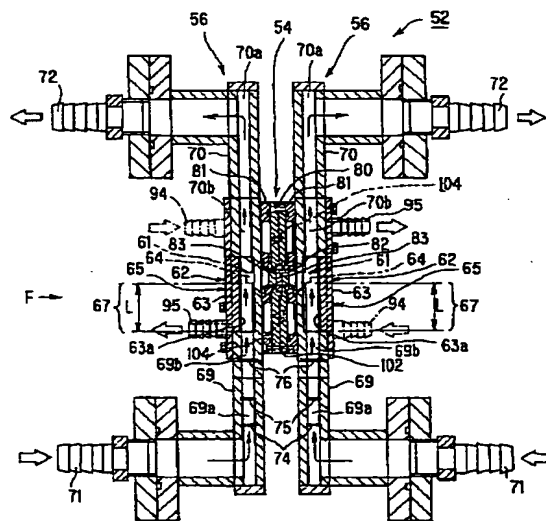
\* TC: 熱電対

【図2】



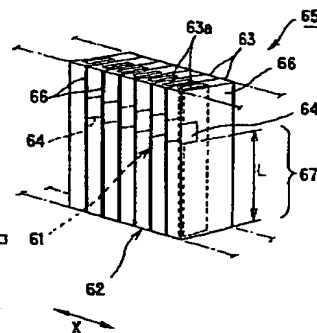
- 52 装置本体部  
56 励起源LD装置  
61 二次元LDアレイ素子  
62 マイクロチャンネル群  
69 マニホールド  
69a 拡散部  
69b 平行部  
69c, 69d 側面  
65 励起源LD装置本体部  
70 マニホールド  
70a 縮流部  
70b 平行部  
70c, 70d 側面  
71 LD素子冷却水入口  
72 LD素子冷却水出口  
73a, 73b 境界層  
74, 75, 76 整流板  
94 スラブ結晶冷却水入口  
95 スラブ結晶冷却水出口  
105 ピン  
110 流速分布

【図3】



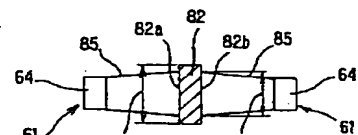
- 52 装置本体部  
54 スラブホルダー部  
56 励起源LD装置  
61 二次元LDアレイ素子  
62 マイクロチャンネル群  
63 マイクロチャンネル  
63a 水路  
64 一次元LDアレイ素子  
65 励起源LD装置本体部  
67 助走区間  
69 マニホールド  
69a 拡散部  
69b 平行部  
70 マニホールド  
70a 縮流部  
70b 平行部  
71 LD素子冷却水入口  
72 LD素子冷却水出口  
74, 75, 76 整流板  
80 スラブホルダー  
81 透過板ホルダー  
82 スラブ型YAG結晶  
83 透過板  
94 スラブ結晶冷却水入口  
95 スラブ結晶冷却水出口  
102, 104 ピン穴

【図5】



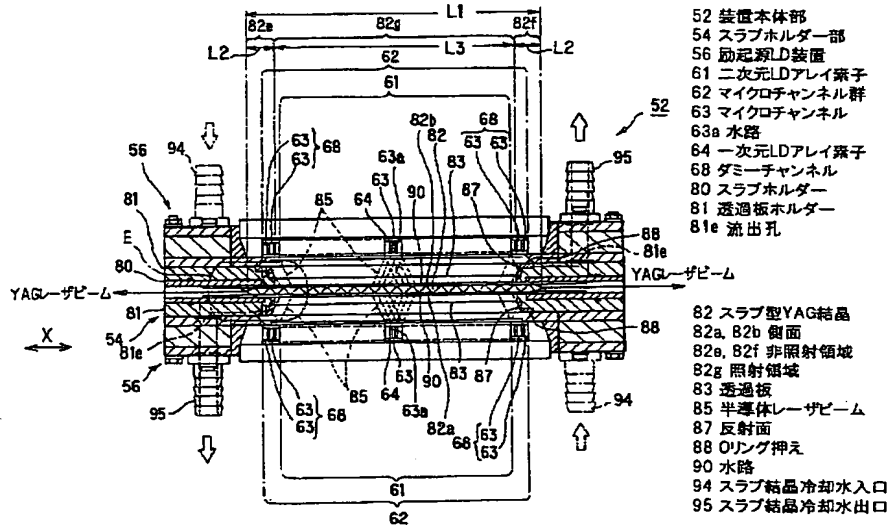
- 61 二次元LDアレイ素子  
62 マイクロチャンネル群  
63 マイクロチャンネル  
63a 水路  
64 一次元LDアレイ素子  
65 励起源LD装置本体部  
66 絶縁材  
67 助走区間

【図9】

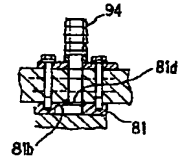


- 61 二次元LDアレイ素子  
64 一次元LDアレイ素子  
82 スラブ型YAG結晶  
82a, 82b 側面  
85 半導体レーザービーム

【図4】

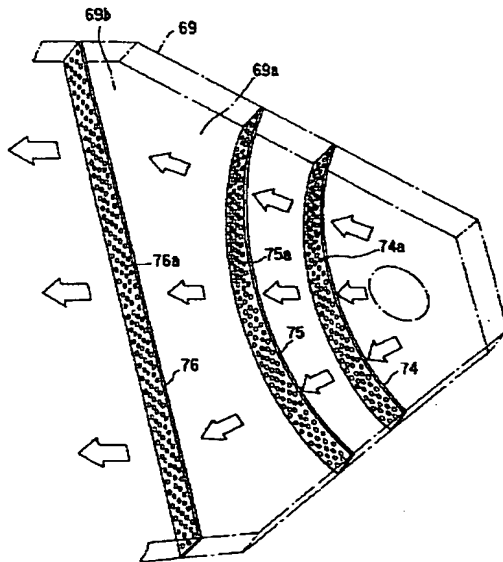


【図12】



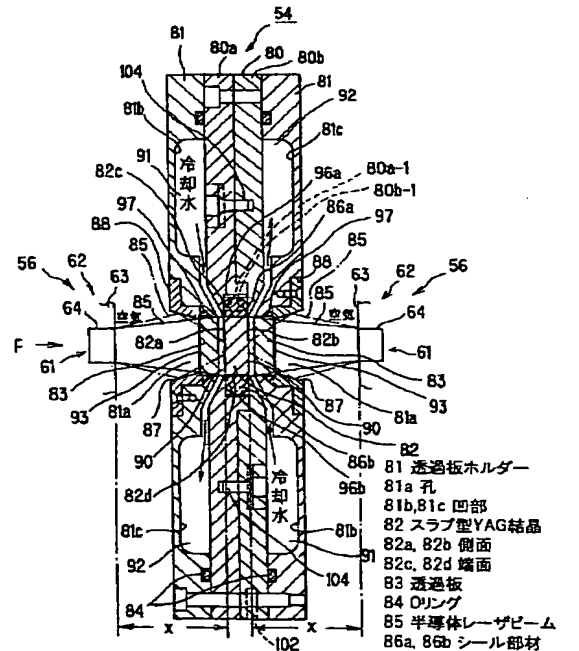
81 透過板ホルダー  
81b 凹部  
81d 流入孔  
94 スラブ結晶冷却水入口

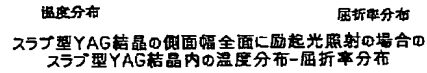
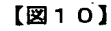
【図6】



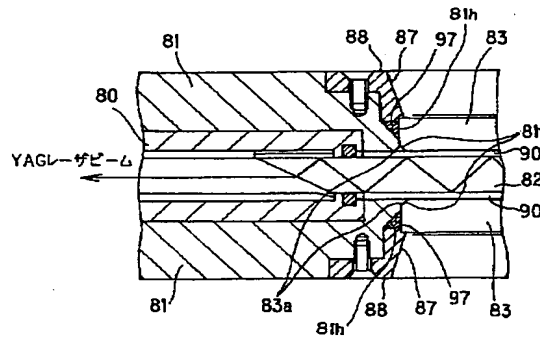
69 マニホールド  
69a 拡散部  
69b 平行部  
74 整流板、74a 孔  
75 整流板、75a 孔  
76 整流板、76a 孔

【図7】



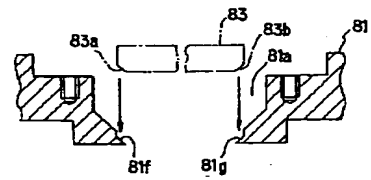


- 56 励起源LD装置
- 61 二次元LDアレイ素子
- 62 マイクロチャンネル群
- 63 マイクロチャンネル
- 64 一次元LDアレイ素子
- 82 スラブ型YAG結晶
- 82a, 82b 側面
- 83 透過板
- 85 半導体レーザビーム
- 111 コリメートレンズ



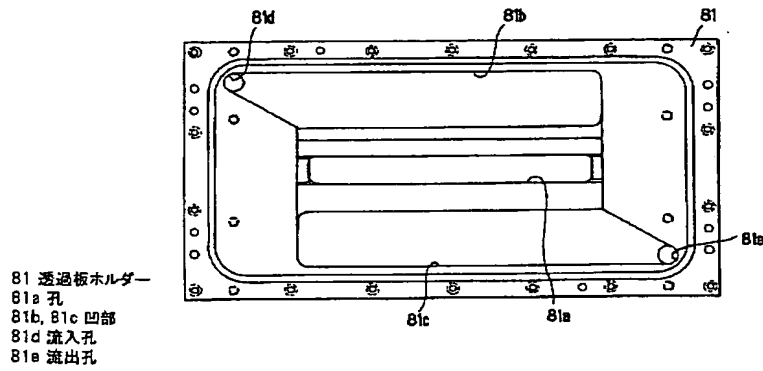
80 スラブホルダー  
81 透過板ホルダー  
81f 透過板との接触面  
82 スラブ型YAG結晶  
83 透過板  
83a 接触面  
87 反射面  
88 Oリング押え  
97 Oリング

【图 18】

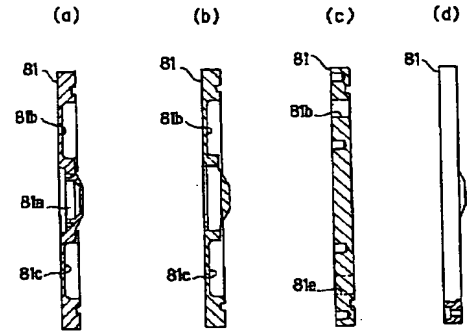


81 透過板ホルダー  
81a 孔  
81f, 81g 透過板との接触面  
83 透過板  
83a, 83b 接触面

【図 15】

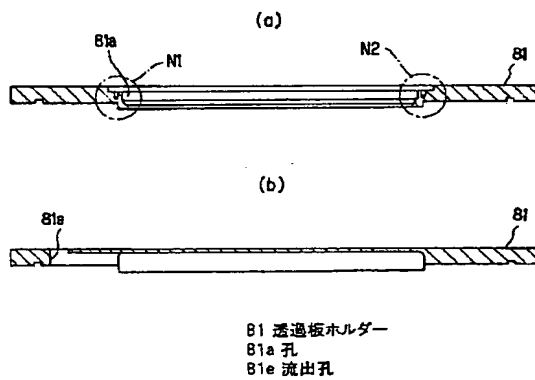


【図 16】

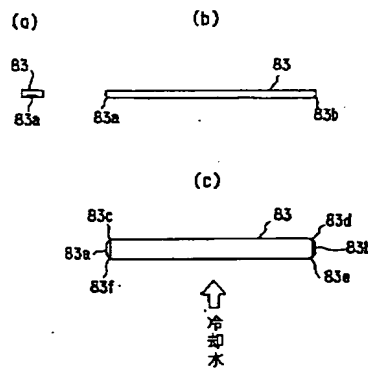


81 透過板ホルダー  
81a 孔  
81b, 81c 凹部  
81d 流入孔  
81e 流出孔

【図 17】

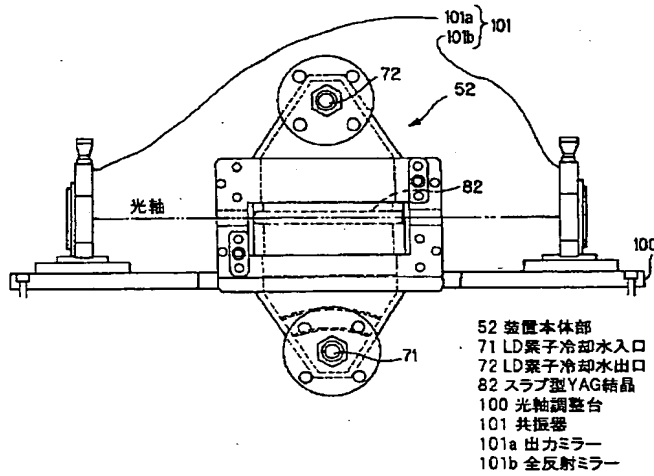


【図 19】



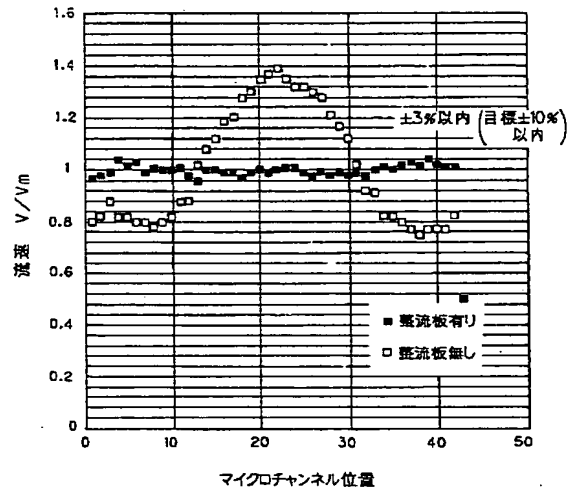
83 透過板  
83a, 83b 透過板ホルダーとの接触面  
83a, 83d, 83e 83f 角

【図20】

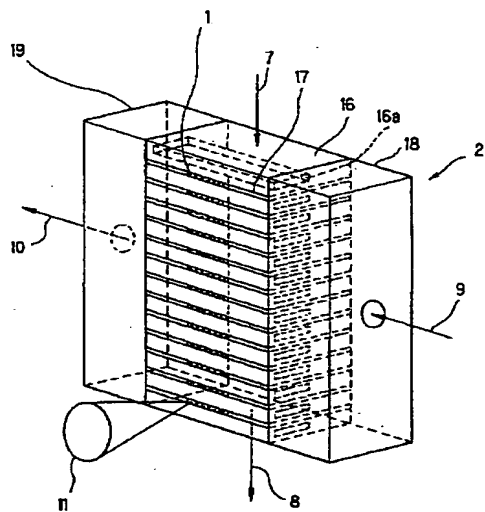


【図21】

LD装置冷却用マニホールド部の流速分布試験結果  
気流中:  $Re = 3900$

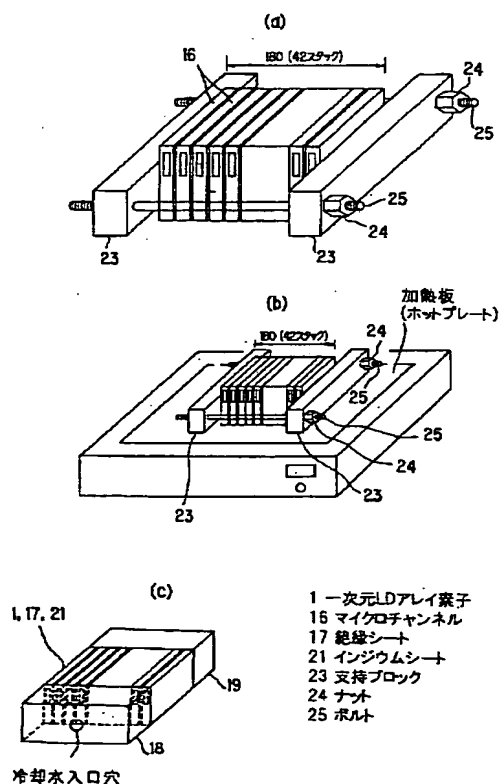


【図22】

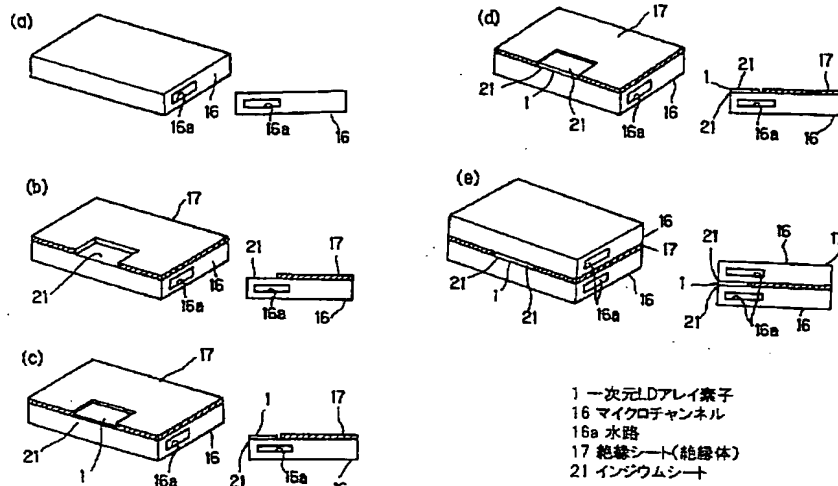


- 1 一次元LDアレイ素子  
2 励起源LD装置  
7 駆動電流流入方向  
8 駆動電流流出方向  
9 冷却水注入方向  
10 冷却水注出方向  
11 1次元素子のレーザー光  
16 マイクロチャンネル  
16a 水路  
17 絶縁体  
18, 19 マニホールド

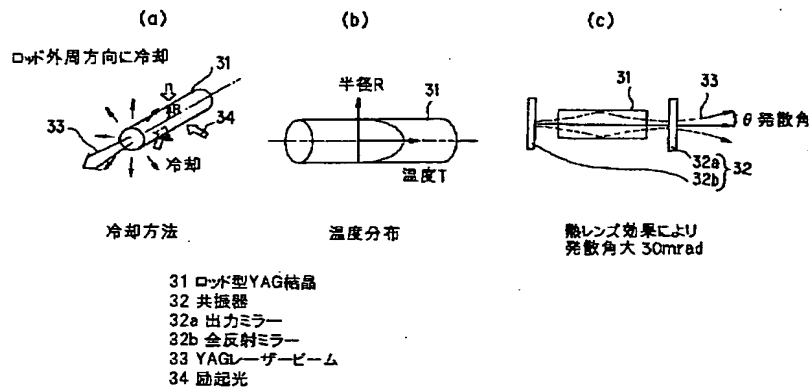
【図24】



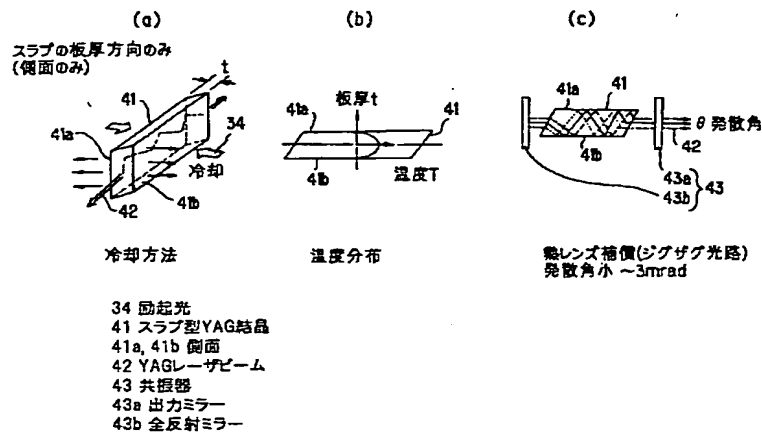
【図23】



【図25】

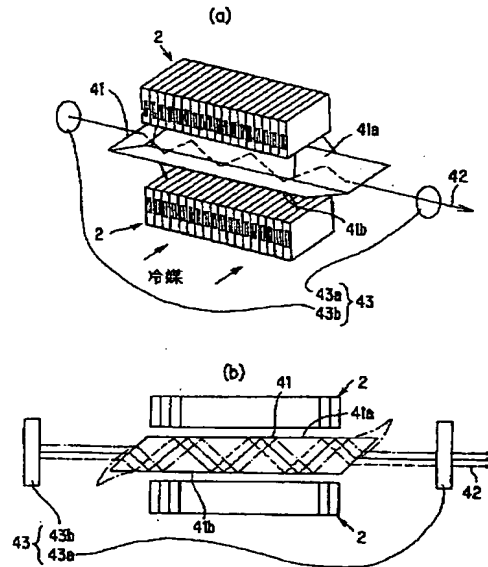


【図26】





【図 2 7】



2 励起源LD装置  
 41 スラブ型YAG結晶  
 41a, 41b 側面  
 42 YAGレーザービーム  
 43 共振器  
 43a 出力ミラー  
 43b 全反射ミラー

## 【手続補正書】

【提出日】平成 1 1 年 5 月 6 日

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体レーザー装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装置において、

前記半導体レーザー装置から発振された半導体レーザービームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するよう構成すると共に、

前記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザービームを吸収して発熱することのないシール部材を設け、

前記シール部材と前記スラブ型結晶を保持するスラブホルダーとの隙間にスペーサ用薄板を挿入して、前記シール部材を前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする半導体レーザー励起

スラブ固体レーザー装置。

【請求項 2】 半導体レーザー装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装置において、

前記半導体レーザー装置から発振された半導体レーザービームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するよう構成すると共に、

前記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザービームを吸収して発熱することのないシール部材を設け、

スラブホルダーを構成する一方の部材のスラブ型結晶挿入部の側面を斜面構造とし、且つ、前記スラブホルダーを構成する他方の蓋としての部材のスラブ型結晶挿入部の側面も斜面構造として、前記両部材を合体させたときに前記シール部材を前記両側面で締め付けて前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装置。

【請求項 3】 半導体レーザー装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装

置において、

前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記透過板の前記スラブ型結晶側の面の両端に斜面構造の接触面を形成し、これらの接触面と、前記透過板ホルダーに形成した斜面構造の接触面とを面接触させて、前記冷媒流路の幅を一定に保持するよう構成したことを特徴とする半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する第1発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するよう構成すると共に、前記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザビームを吸収して発熱することのないシール部材を設け、前記シール部材と前記スラブ型結晶を保持するスラブホルダーとの隙間にスペーサ用薄板を挿入して、前記シール部材を前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】また、第2発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するよう構成すると共に、前記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザビームを吸収して発熱することのないシール部材を設け、スラブホルダーを構成する一方の部材のスラブ型結晶挿入部の側面を斜面構造とし、且つ、前記スラブホルダーを構成する他方の蓋としての部材のスラブ型結晶挿入部の側面も斜面構造として、前記両部材を合体させたときに

前記シール部材を前記両側面で締め付けて前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】また、第3発明のLD励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記透過板の前記スラブ型結晶側の面の両端に斜面構造の接触面を形成し、これらの接触面と、前記透過板ホルダーに形成した斜面構造の接触面とを面接触させて、前記冷媒流路の幅を一定に保持するよう構成したことを特徴とする。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】削除

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】削除

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】削除

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】削除

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0133

【補正方法】変更

【補正内容】

【0133】

【発明の効果】以上、発明の実施の形態と共に具体的に説明したように、第1発明の半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置は、半導体レーザ装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザ励起スラブ固体レーザ装置において、前記半導体レーザ装置から発振された半導体レーザビームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するよう構成すると共に、前

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザービームを吸収して発熱することのないシール部材を設け、前記シール部材と前記スラブ型結晶を保持するスラブホルダーとの隙間にスペーサ用薄板を挿入して、前記シール部材を前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする。

【手続補正 1 0】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 3 4

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 1 3 4】従って、この第 1 発明の半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装置によれば、シール部材とスラブホルダーとの隙間にスペーサ用薄板を挿入して、シール部材をスラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したため、冷媒を確実にシールすることができると共にシール部材の着脱が容易である。

【手続補正 1 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 3 5

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 1 3 5】また、第 2 発明の L D 励起スラブ固体レーザー装置は、半導体レーザー装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装置において、前記半導体レーザー装置から発振された半導体レーザービームは前記スラブ型結晶の側面に照射し、且つ、前記側面に沿って形成した冷媒流路に冷媒を流して前記スラブ型結晶を冷却するよう構成すると共に、前記スラブ型結晶の側面幅方向の両端面には、前記冷媒をシールし、前記両端面を断熱し、且つ、前記半導体レーザービームを吸収して発熱することのないシール部材を設け、スラブホルダーを構成する一方の部材のスラブ型結晶挿入部の側面を斜面構造とし、且つ、前記スラブホルダーを構成する他方の蓋としての部材のスラブ型結晶挿入部の側面も斜面構造として、前記両部材を合体させたときに前記シール部材を前記両側面で締め付けて前記スラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したことを特徴とする。

【手続補正 1 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 3 6

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 1 3 6】従って、この第 2 発明の半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装置によれば、スラブホルダーを構成する一方の部材のスラブ型結晶挿入部の側面を斜面構造とし、且つ、スラブホルダーを構成する他方の蓋としての部材のスラブ型結晶挿入部の側面も斜面構造として、

前記両部材を合体させたときにシール部材を前記両側面で締め付けてスラブ型結晶及びスラブホルダーに密着させるように構成したため、上記第 1 発明と同様に、冷媒を確実にシールすることができると共にシール部材の着脱が容易である。

【手続補正 1 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 3 7

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 1 3 7】また、第 3 発明の L D 励起スラブ固体レーザー装置は、半導体レーザー装置を励起源とし且つスラブ型結晶を用いた半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装置において、前記半導体レーザー装置から発振された半導体レーザービームが前記スラブ型結晶の側面へ照射されるまでの伝搬光路中に透過板を配設して、この透過板と前記スラブ型結晶の側面との間に冷媒流路を形成すると共に、前記透過板の前記スラブ型結晶側の面の両端に斜面構造の接触面を形成し、これらの接触面と、前記透過板ホルダーに形成した斜面構造の接触面とを面接触させて、前記冷媒流路の幅を一定に保持するよう構成したことを特徴とする。

【手続補正 1 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 3 8

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 1 3 8】従って、この第 3 発明の半導体レーザー励起スラブ固体レーザー装置によれば、透過板のスラブ型結晶側の面を透過板ホルダーに面接触として、冷媒流路の幅を一定に保持するよう構成したため、常に冷媒流路の幅を一定に正確に保持することができる。従って、冷媒流路の各部においてスラブ型結晶の冷却にアンバランスが生じることはない。このため、スラブ型結晶の側面を均一に冷却して、スラブ型結晶内の温度分布をジグザグ光路伝搬による熱レンズ光学補償を行うのに適した状態に維持することができるため、固体レーザービームの品質が向上する。

【手続補正 1 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 3 9

【補正方法】削除

【手続補正 1 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 4 0

【補正方法】削除

【手続補正 1 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 4 1

【補正方法】削除

## FP04-0315-00WO-HP Search Report(2004/12/14) 3/5

【手続補正 1 8】  
【補正対象書類名】明細書  
【補正対象項目名】0 1 4 2  
【補正方法】削除  
【手続補正 1 9】  
【補正対象書類名】明細書  
【補正対象項目名】0 1 4 3  
【補正方法】削除  
【手続補正 2 0】  
【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 4 4  
【補正方法】削除  
【手続補正 2 1】  
【補正対象書類名】明細書  
【補正対象項目名】0 1 4 5  
【補正方法】削除  
【手続補正 2 2】  
【補正対象書類名】明細書  
【補正対象項目名】0 1 4 6  
【補正方法】削除

---

フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 眞生  
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1  
号 三菱重工業株式会社神戸造船所内

(72)発明者 赤羽 崇  
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1  
号 三菱重工業株式会社神戸造船所内  
(72)発明者 岡野 昌博  
東京都千代田区丸の内二丁目 5 番 1 号 三  
菱重工業株式会社内